

高分辨率航磁方法及在大冶铁矿区的应用

于长春, 范正国, 王乃东, 熊盛青, 万建华, 张洪瑞

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘 要 本文针对危机矿山深部及周边找矿的难度大、勘探周期短的特点, 提出了一套以找矿为目的, 集直升机大比例尺航空物探测量、数据处理、解释为一体的高分辨率航磁方法技术. 这些方法包括硬架式直升机航磁测量方法、曲面位场处理方法、精细反演解释方法等. 应用该方法在湖北黄石大冶铁矿中布钻, 已有两孔见富磁铁矿及伴生的铜、金矿, 见矿最大厚度为 14.6m. 因此, 高分辨率航磁方法在危机矿山进一步挖潜工作中可以实现快速找矿目的.

关键词 航磁, 直升机, 大冶铁矿, 曲面, 反演, 危机矿山

中图分类号 P631

文献标识码 A

文章编号 1004-2903(2007)03-0979-05

High-resolution aeromagnetic exploration methods and their application in daye iron mines

YU Chang-Chun, FAN Zheng-Guo, WANG Nai-Dong, XIONG Sheng-Qing,

WAN Jian-Hua, ZHANG Hong-Rui

(China Aero geophysical Survey and Remote Sensing center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract Aiming at the need of looking for ore in the outside of the mine and in the depth of the mine, this paper gives a set of high-resolution aeromagnetic exploration methods, including airborne geophysical survey method with helicopter, transform method for curved surface potential field and precise inversion and interpretation method. Applying the methods to Daye iron mines of Huangshi city, Hubei province, makes a great success. In the year of 2006, rich iron ore and its associated minerals of Cu and Au have been dug up in two of the four drill holes arranged by the interpretation results. Accordingly, the innovation of technique is significant in the work of potential ore digging.

Keywords aeromagnetic exploration, curved surface, inversion, helicopter, daye iron mines

0 引 言

目前,我国已进入工业化快速发展阶段,对矿产资源的需求也将成倍增长,危机矿山日渐成为国民经济和社会发展中的热点、难点问题.为解决这一问题,国家自 2000~2006 年间共实施了 48 个危机矿山接替资源找矿工作项目.由于很多危机矿山如大冶铁矿位于复杂山区,地表工业设施很多,地面物探工作开展难度较大,迫切需要快速、有效的航空物探详查技术,提供深部及周边地质找矿信息,为找矿勘探服务.

大冶铁矿^[1]是 1958 年我国建设的第一座大型

露天铁矿,但经过近 50 年大规模的开采,截止 2004 年 12 月底,全矿区保有资源储量 2 798 万吨,占探明矿山储量的 17%,是典型的危机矿山.其虽地处中国东部平原,但区内及周边地形高差最大达 420 m.矿区北部四峰山山势险峻,海拔达 485.9 m,南部地形海拔一般在 70 m 左右^①.另外,大冶铁矿地面重磁物探工作最大比例尺已达 1:2 千,勘探线间距 150 m,钻孔最小间距 50 m.在这样复杂地形条件下和如此详细勘探地区,实现找矿突破需采用新方法才能够完成^[2~6].

本文研究给出了高分辨率航磁新方法,实现了危机矿山快速找矿目的.该方法是一种以找矿为目的,

收稿日期 2007-04-13; 修回日期 2007-04-20.

基金项目 国家危机矿山接替资源勘查项目“湖北省黄石市大冶铁矿接替资源勘查”(200442007)资助.

作者简介 于长春,男,1964 年生,博士.现为中国国土资源航空物探遥感中心教授级高工,主要从事航磁方法技术研究和相关软件开发工作.(E-mail: bjycc@agrs.cn)

集直升机 1 : 1 万及以上大比例尺航空物探测量、数据处理、解释为一体的技术方法, 主要内容包括硬架式直升机测量系统集成及飞行方法、曲面位场处理方法技术、精细反演解释技术等. 该方法在大冶铁矿应用结果表明, 获得的航磁成果不仅填补了矿区及周边缺乏高精度、高分辨率磁场资料的空白, 而且目前依据航磁解释成果布钻施工的 2 个钻孔已在深部见矿, 找矿效果显著. 说明危机矿山进一步挖潜工作中, 方法技术创新工作的重要性.

1 硬架式直升机测量系统及测量效果

在国外直升机局部详查工作开展较普遍, 如加拿大^[7]、新西兰^[8]. 数据处理方法多采用曲化平方法, 少数采用了视磁化强度填图来减弱地形起伏影响^[9]. 在我国截止 2005 年底已有的直升机勘探都是由吊挂式系统完成的, 如山西中条山, 内蒙古乌达地区等.

硬架式直升机航磁测量系统是具有国际先进水平的航空物探测量系统, 具有飞行方式灵活, 易操纵, 飞行高度低, 获取的磁场信息丰富等优点.

针对湖北黄石磁测工作需要, 首次集成使用的硬架式直升机航磁测量系统主要特点是磁测仪器精度高(具国际先进水平的 HC—2000K 型航空磁力仪、DSC—1 航空磁自动数字软补偿仪), 定位精度高(使用 GPS 差分定位设备和技术, 定位精度可达米级). 为了获得更好的地质效果, 采用随地形起伏的飞行方法. 这种方法的核心就是利用直升机的高度灵活性, 不对飞机水平飞行速度提出具体要求, 只是要求在保证安全的前提下, 飞机离地高度尽量保持一致, 最大限度地获取磁异常信息.

截至目前, 大冶铁矿区内共进行了 5 次航磁测量. 它们是 1957 年的 1 : 10 万航磁测量, 1974 年 1 : 5 万航磁测量, 1976 年 1 : 2.5 万航磁测量, 1993 年 1 : 2.5 万磁电放综合站测量, 2005 年 1 : 1 万高分辨率航磁测量. 2 次地磁测量. 它们是 1970 年前后 1 : 1 万地面 ΔZ 测量, 2004 年底 1 : 2 千 ΔT 高精度地面磁测^①. 综合对比上述资料, 只有 2005 年高分辨率航磁测量资料信息最丰富, 异常反映完整(见图 1).

图 1 是以 2005 年实测的铁山矿区南侧灰岩区平缓磁异常值为参考, 统一了三个不同年份磁异常水平后绘制的对比图. 从结果看, 2005 年磁异常细

节丰富, 从东向西分布的四个强磁异常, 分别对应着铁门坎、龙洞、象鼻山、狮子山矿段. 此外, 2005 年地磁测量时狮子山附近显示为宽缓负磁异常, 而此次航磁测量结果显示狮子山磁异常是本区最强的磁异常. 该成果弥补了地面磁法的不足, 为该区铁矿勘探提供了重要线索.

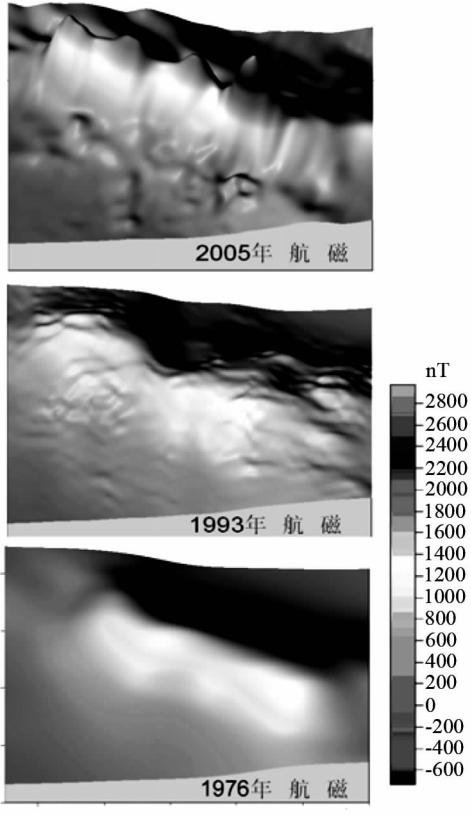


图 1 不同年代航磁测量结果对比图
Fig. 1 Comparison of aeromagnetic measurement in different years

2 曲面位场处理方法技术

自 20 世纪 80 年代, 中外学者采用等效源原理和直接求解 Laplace 方程的方法, 提出了用曲面数据直接进行位场的各种处理和转换的设想、原理和方法^[10~12]. 如依据等效源原理发展了单层位和偶层位法等不同的等效源法, 比较有代表性作者有侯重初, 徐连喜, 王万银等; 但是由于遇到了一些诸如大数据量的处理和转换、大型的第一类 Fredholm 积分方程求解、缺少准确的飞行高度和地形高程资料等问题^[13], 因此曲面位场处理方法很少在实际生产中使用.

①于长春, 范正国等, 湖北黄石地区 1 : 1 万航空物探(磁)勘查成果报告^[R], 北京: 中国国土资源航空物探遥感中心, 2006.

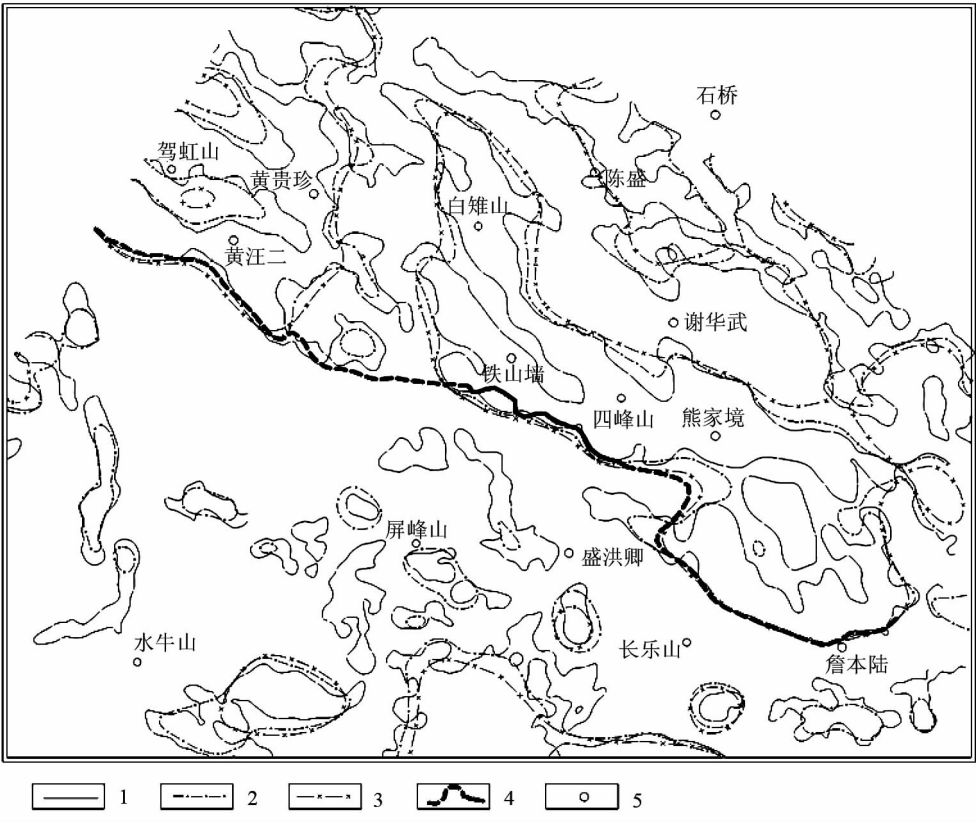


图 2 不同高度化极垂向二次导数零值线图

Fig. 2 Zero lines of vertical second derivative contour in different height

图例:1. 化极上延 200 m; 2. 化极上延 600 m; 3. 化极上延 1 000 m; 7. 推断接触带; 8. 地名

借助于国家科技攻关项目,通过将偶层面等效源设定为平面或曲面规则网,再针对不同观测面的情况,分别进行正反演理论公式推导,设计了不同计算方法,克服了上述问题,建立了一套基于频率域的实用曲面位场转换系统。

在应用此系统处理大冶航磁资料工作中,创造性地采用了如下方法完成了曲面位场化极工作:首先对 GPS 高程网格数据进行了去条带处理,形成较为圆滑的 GPS 飞行曲面,而后采用曲面位场处理系统曲化曲功能,将原 ΔT 磁场化到圆滑的 GPS 飞行曲面上,最后将原始 DTM 曲面、处理过的 GPS 曲面、曲化曲后的 ΔT 磁场网格数据作为曲面位场处理系统原始输入数据,完成本区曲面化极的处理工作。该方法不仅可以减弱相邻测线飞行高度差引起的异常强度差异,而且还可以减少后续信息增强处理中、沿测线方向条带增强的现象。

铁山岩体南接触带是三叠系大冶组灰岩与铁山岩体接触位置,是一个接触-断裂复合构造带,也是本区重要成矿带^[1]。由于该接触带同时也是铁山岩

体南边界,因此采用计算化极垂向二次导数零值线方法,圈定岩体南边界,应用不同高度零值线束特征定性分析接触带的产状。采用 200 m 间隔计算了多个高度层的化极垂向二次导数,叠合结果显示明显的规律。图 2 是 200 m、600 m、1 000 m 零值线叠合结果。

从图 2 可以看出不同高度磁场零值线形成的束状特征非常明显,特别是铁山岩体范围内分布的零值线束构成的圈闭,基本圈出了燕山早期侵入岩体的边界。根据理论计算结果及铁山矿区南测已知接触带的特性,我们认为若零值线束从高到低依次向岩体外部扩展,则岩体边界可能倾向向外;若零值线束从低高度(200 m)垂向二次导数零值线到高高度(1 000 m)依次向岩体内部收缩,则强磁性岩体可能超覆在弱磁性岩体或沉积地层之上;若不同高度导数零值线重合在一起,则认为岩体边界近于直立。图 2 中给出了推断的铁山岩体南接触带的位置。认为黄汪二岩体南部接触带西部深部向南缓倾,东部倾角接近 90°,近于直立;从铁山墙到四峰山,产状逐渐

由缓倾到陡倾;熊家境南部,地质勘探结果表明,接触带转弯向南,但是根据磁场特征,接触带可能向南东延伸,转一个弧度,至盛洪卿东部,接触带倾向南西西,倾角较小;从盛洪卿东部至詹本陆,接触带逐渐陡倾,接近詹本陆转为直立;詹本陆东部附近接触带产状倾向南东,产状由直立转为陡倾,再向东北则又接近直立.铁山岩体南侧接触带走向和倾向的研究结果,对于矿区寻找新的铁矿资源具有重要的现实意义.

3 精细反演解释方法

精细反演解释技术是一种组合方法技术.其主要内容有,①在矿区及周围进行详细岩矿石磁性测量及地质调查,为反演建模提供准确的岩石磁性资料;②使用三维方法反演研究地下强磁性体分布特征,为定量反演提供参考;③针对起伏测量面,采用曲面场处理系统完成磁场信息增强处理;④针对针对矿区资料繁杂、信息丰富的特点,通过建立地质、物探资料 GIS 图库^[14~16],定性分析成矿规律;⑤针对测区地形起伏和测量面均较大的特点,使用起伏地形条件下高精度重磁剖面解释系统^[17,18]完成矿区勘探线航磁异常定量反演工作;⑥采用 SUR-PAC 三维建模技术,将反演结果、磁场、设计钻孔位置显示到一起,为钻探工作布置提供分析依据.下面以二维磁剖面反演应用为例,介绍精细反演解释实现过程.

由于大冶矿区四个主要磁异常轴线方向基本为北西向(图 1),长短轴之比 2 : 1 左右,有明显的二度体特征,同时磁性研究结果表明,矿体和岩体磁性沿走向变化较小,因此采用二维反演是可行的.为了取得好的反演效果,在反演过程中采取了以下技术:

(1)全剖面反演方法可以准确把握地下磁性体变化特征.

横穿矿区的反演剖面长度 15km 左右.针对大冶矿区 5 个主要矿段内共做了 20 条剖面,对矿区及周边地下磁性体的分布进行详细的反演,定量地给出了未知矿体赋存空间位置.

(2)初始地质模型建立以已知地质勘探剖面、钻孔和三维反演结果为依据.

大冶铁矿区,已有大量已知勘探线,钻孔已经准确地控制了浅部矿体形态,矿体形态十分复杂.为此我们将已知勘探剖面形成 GIS 点线面文件,在与磁剖面精确配准前提下,直接输入到起伏地形条件下高精度重磁剖面解释系统中,人工可视化建立初

始模型,提高了已知模型建立精度.

(3)地质图和磁场图联合控制地质体模型走向延伸边界

在二维反演断面上,模型形状可以根据异常特征及异常值的大小任意调整,直到达到反演精度.但是模型在垂直剖面延长值的大小一般是根据异常等值线图特征及地质体走向延长来确定.为了较为精确地给出模型走向延长值,我们把地下地质体边界投影到平面图上,并与地质图、磁场图叠合到一起,分析其延长值的合理性及与相邻剖面的协调性,最终给出一个贴近实际、客观的模型延伸边界值.

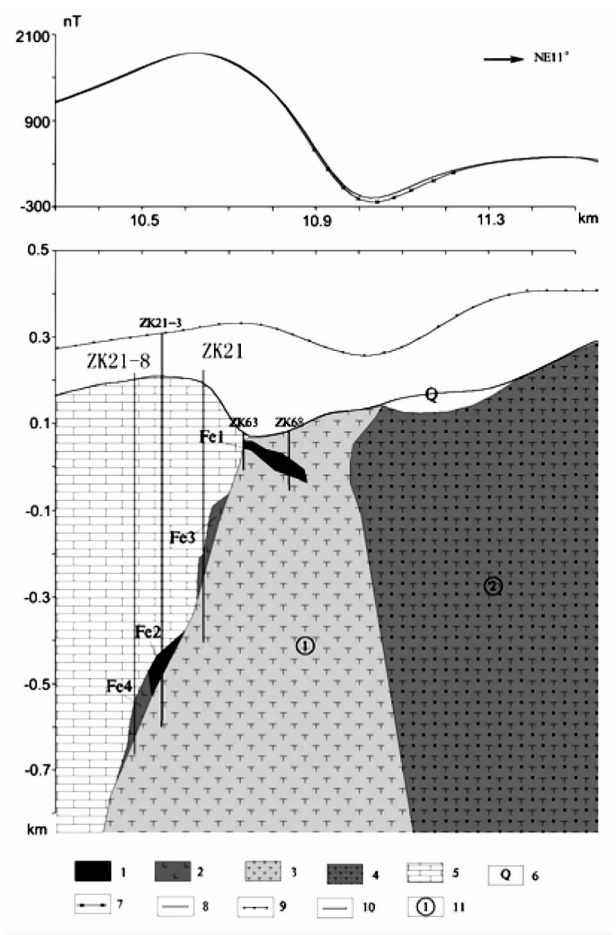


图 3 象鼻山 I 号剖面航磁异常反演结果
图例: 1. 已知矿体; 2. 推断矿体; 3. 细斑含石英闪长岩; 4. 闪长岩; 5. 大理岩; 6. 第四系覆盖; 7. 观测曲线; 8. 计算曲线; 9. 飞行高度线; 10. 地形线; 11. 模型体序号
Fig. 3 Inversion map of No. 1 profile in Xiangbi hill

图 3 是象鼻山 I 号剖面反演结果.从钻孔资料已控制的赋矿信息来看,本区铁矿体赋存在二个部位,其一是标高-50 m 的矿体呈层状,略为倾斜插入侵入岩体中(Fe1);标高-420 m 左右为矿体,厚

度 10 m 以上(Fe2). 反演结果表明,推断标高-50~-300 m 之间存在铁矿体(Fe3);在标高-550 m 以下,顺着已控制矿体向下延伸还有铁矿体存在,可延伸到标高-700 m 左右(Fe4). 根据这一反演结果设计了 ZK21-8 和 ZK21 两个钻孔,已施工的 ZK21-8 孔,并于 740 m~840 m 深度见数层矿,累计铁矿体厚 14.6 m,铁的品位为 40~45%,铁矿体中还伴生有铜、金、银、钴等.

4 应用效果

高分辨率航磁方法在湖北黄石大冶铁矿应用结果表明,航磁测量系统具仪器精度高(小于 2 nT),定位精度高(2 m),飞行高度低(平均 144 m)的特点,航磁资料经过精细反演解释,评价并登记了 119 处(其中新编 97 处)航磁局部异常;在铁山矿区及外围,提出了 5 处重点找矿区,并建议了 5 个探矿钻孔位置及 1 处探测钻孔位置;预测大冶铁矿主要矿段尚有 5600 多万吨铁矿科研资源量.

中南地勘院大冶铁矿项目部根据航磁解释结果进行钻探,在航磁圈出的 2 号重点找矿区内布设了 ZK21-8 孔,并于 740 m~840 m 深度见数层矿,累计铁矿体厚 14.6 m;在航磁圈出的 3 号重点找矿区内布设了 ZK26-8 孔,并于 732 m 见矿,见矿厚度为 5 m 左右,现仍在施工中. 这一见矿结果证实大冶铁矿龙洞——象鼻山地段深部存在第三成矿台阶的认识,实现了大冶深部找矿的重要进展,为大冶铁矿其它矿段深部找矿钻探提供了依据.

5 结 论

(1) 高分辨率航磁方法具有速度快,测量数据精度高,解释方法精细等特点,非常适合于局部重点地区找矿工作.

(2) 湖北黄石应用结果表明,在危机矿山工作中,首先使用高分辨率航磁方法,确定重点找矿区,而后结合矿区成矿地质研究基础上,直接进行钻探

验证的找矿思路是可行的.

参 考 文 献 (References):

[1] 刘玉成,杨艺华,王永基. 大冶铁矿控矿构造研究及深部隐伏矿体定位预测[J]. 地质与勘探,2006,42(6):10~16.

[2] 王怀洪. 发挥物探作用提高勘探效果[J]. 地球物理学进展,2005,20(1):93~96.

[3] 高淑芳,崔军. 地质找矿过程中如何提高物探工作质量[J]. 地球物理学进展,2005,20(1):97~103.

[4] 王谦身,滕吉文,王光杰,等. 内蒙古阴山地区特异区域重磁场与深部构造[J]. 地球物理学报,2005,48(2):314~320.

[5] 管志宁. 我国磁法勘探的研究与进展[J]. 1997,40(增刊):299~307.

[6] 熊光楚. 金属矿区磁法勘探的进展与展望[J]. 地球物理学报,1994,37(1):437~443.

[7] Pikington M, Urquhart W E S. Reduection of potential field data to a horizo-ntal plane: Geophics, 1990,V. 55,P. 549~555.

[8] Grauch V J S, Campbell D L. Does draping aeromagnetic data reduce terrain-induced effects?: Geophics, 1984,V. 49,P. 75~80.

[9] 眭素文,于长春,熊盛青,等. 中高山区高精度航磁视磁化强度填图方法[J]. 地球物理学进展,2004,19(2):357~362.

[10] 候重初,蔡中熹,刘奎俊. 从偶层位出发建立曲面上的位场转换系统[J]. 地球物理学报,1985,28(4):410~418.

[11] 管志宁,安玉林,陈维雄. 曲线与曲面上磁场向上延拓和分量转换[J]. 地球物理学报,1985,28(4):419~428.

[12] 王万银,潘作枢,李家康. 三维高精度重磁位场曲面延拓方法[J]. 物探与化探 1991,15(6):415~422.

[13] 于长春,熊盛青等. 航磁剖面异常高度改正方法研究[M],“九五”全国地质科技重要成果论文集. 北京:地质出版社,2000.

[14] 于长春,郭志宏,眭素文. 航空物探领域的 GIS 开发与应用[J]. 物化探计算技术,2003,25(1):39~44.

[15] 叶水盛,周东岱,孙丰月. 基于 GIS 的区域重磁空间信息集成研究[J]. 地球物理学进展,2006,21(1):84~92.

[16] 郭志宏,徐昆. 中国航磁异常管理信息系统开发与建设[J]. 地球物理学进展,2002,17(4):703~710.

[17] 眭素文,于长春,姚长利. 起伏地形剖面重磁异常半智能处理解释软件及应用[J]. 物探与化探,2004,28(1):65~68.

[18] 林振民,陈少强. 三维重磁交互解释及区域与局部异常分离[J]. 地球物理学报,1996,39(5):706~711.